

Опыт

## ПРИМЕНЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБЪЕКТНОГО МОНИТОРИНГА ПРИ КОНСЕРВАЦИИ ВОДОЕМА-ХРАНИЛИЩА «КАРАЧАЙ»

ДРОЖКО Е.Г., ЗИНИНА Г.А., КОЧЕРГИНА Н.В., САМСОНОВА Л.М.  
ФГУП «ГИДРОСПЕЦГЕОЛОГИЯ», МОСКВА

\* В настоящее время математическое моделирование достаточно широко используется при решении задач, связанных с исследованием потоков подземных вод и переноса с ними загрязняющих или природных веществ, как завершающая стадия объектного мониторинга. Модель, как информационный объект, представляет собой объединение исходных данных и моделирующих программ, которые позволяют обобщать и систематизировать результаты полевых и лабораторных работ. Моделирующие программы следует рассматривать как продукт высоких технологий, в котором используются новейшие разработки в области численного анализа. Методологически правильной постановкой геологического мониторинга считается его модельная ориентированность, т.е. направленность на обоснование расчетной модели, которая совершенствуется в процессе наблюдений применительно к требованиям задач прихода и управления. Таким образом, проведение мониторинга тесно связано с созданием постоянно действующих моделей (ПДМ). При этом ПДМ рассматривается как основной элемент системно-информационного построения объектного мониторинга.

Основные подходы к математическому моделированию распространения загрязняющих веществ с подземными водами можно достаточно показательно рассмотреть на примере водоема «Карачай».

Сложность моделирования этого объекта обусловлена следующими факторами:

- высокая плотность раствора-загрязнителя;
- пространственная неоднородность фильтрационно-емкостных свойств водовмещающих пород;
- высокий уровень подземных вод и наличие гидравлической связи поверхностных и подземных вод;
- трехмерный характер миграции из-за гравитационной конвекции вблизи источника и в областях разгрузки в поверхностные водотоки и водоемы.

Плотностная конвекция кардинальным образом влияет на гидродинамические параметры и структуру потока подземных вод.

Высокий уровень подземных вод и характер его изменения во времени (сезонные колебания) приводит к нелинейному взаимодействию подземных вод с поверхностью земли (инфильтрационное питание), что приводит к необходимости постановки на свободной поверхности подземных вод гидродинамических граничных условий типа условий Стефана. Пространственная неоднородность фильтрационно-емкостных свойств водовмещающих пород, при которой физические свойства смежных однородных блоков отличаются на несколько порядков, т.е. терпят разрыв, приводит к необходимости формулировки внутренних граничных условий.

При разработке миграционных моделей потребовался учет и других факторов влияющих на процесс распространения загрязняющих веществ, таких как:

- период полураспада радионуклидов;
- физико-химическое взаимодействие растворов с водовмещающими породами;
- особенности тектонического и складчатого строения района;
- изменения во времени радиохимического и химического состава растворов в водоеме «Карачай» и др.

Математическое моделирование миграции загрязняющих веществ от водоема «Карачай» развилось в соответствии с решаемыми задачами и возможностями вычислительной техники.

На первом этапе разрабатывалась плановая модель GEON-2D регионального масштаба, которая позволила получить достаточно хорошее начальное приближение для распределения фильтрационного питания по площади модели, миграционной емкости пород и обосновать граничные условия для локальной трехмерной модели (рис.1).

Анализ результатов мониторинга подземных вод показал, что распространение загрязнения от водоема «Карачай» существенно трехмерно. Поэтому на следующем этапе была разработана трехмерная модель GEON-3D.

Модель предназначена для моделирования насыщенных изотермических потоков с учетом гравитационной конвенции. При этом вычисляются трехмерные нестационарные распределения давления, плотности и концентрации растворенных примесей (нитрат-ион) и несколько примесей трассеров, в т.ч. Sr-90, которые не влияют на плотность, но подвержены радиоактивному распаду и взаимодействуют с водовмещающими породами. Верификация пакета программ GEON-3D, область моделирования для которой представлена на рис.2, проводилась посредством сравнения результатов расчета специальных модельных задач с результатами расчета по программе CFEST-SC, прошедшей полный цикл верификации (рис.3). Для калибровки, тестирования и валидации модели использовался большой объем опытной информации. После проведения эпигнозных расчетов, которые показали достаточно хорошее соответствие результатам режимных наблюдений, были выполнены прогнозные расчеты распространения: нитрат-иона на период до 100 лет при работающем и отключенном водозаборе п. Новогорный.

- стронция-90 на период до 300 лет при изоляции водоема «Карачай» от подземных вод(проект консервации) и без нее.

В результате расчетных исследований было установлено (рис. 4), что при работе скважин водозабора п. Новогорный происходит существенное «подтягивание» ореола загрязняющих веществ к водозабору, а при отключенном водозаборе ореол распространяется в соответствии со структурой потока под руслом р. Мишеляк. Скважины водозабора, расположенные в пойме р. Мишеляк, в 1996 году были выведены из эксплуатации.

Расчетные исследования по миграции стронция-90, в которых учитывалась равновесная сорбция стронция-90 рыхлыми отложениями долины в долине р. Мишеляк показали следующее:

#### Опыт

- в случае отсутствия изоляции водоема «Карачай» от подземных вод через 150 лет наступает стабилизация ореола и, начиная с этого момента через северо-восточные границы модели поток Sr-90 достигает 60 Ки/год, а разгрузка в р. Мишеляк до 1 Ки/год.
- изоляция от подземных вод уменьшает поток загрязнений через границы модели в 5 раз.

Трехмерная программа GEON-3D по существу являлась локальной моделью и при этом не учитывала ряд важных с точки зрения практического применения особенностей области моделирования, а именно:

- изменение топографии области моделирования при реализации инженерно-технических мероприятий, таких как закрытие акватории, водоемов «Карачай», «Старое болото»
- изменение атмосферного питания при изменении площади акватория
- особенностей разгрузки водоема «Карачай» в подземные воды;
- наличие в области моделирования двухмерных структур (трещин, разломов)
- изменение рельефа области моделирования и некоторые другие.

Для устранения этих недостатков моделирования и некоторые другие. в границах модели GEON-2D. Разбиение на зоны для GEON-3DM выполнено с учетом контуров ранее выявленных разломов (рис. 5).

Для насыщения и калировки модели GEON-3DM использовался практически весь фактический материал (рис. 6). Верификация программного обеспечения модели проведена на тестовых задачах, разработанных в рамках международного проекта HYDROCOIN. Модель согласована с экспериментальными данными по динамике фильтрационных расходов из водоемов-источников, динамике уровня подземных вод в наблюдательных скважинах, по концентрации нитрат-иона и объемной активности стронция-90 (рис. 7). Модель была использована при оценке эффективности инженерно-технических мероприятий при консервации водоема «Карачай» таких как, режим закрытия акватория, стабилизация уровня и др.

При разработке модели была также выполнена схематизация В-9 как источника загрязнения подземных вод. При этом были использованы результаты натурных обследований водоема, выполненные в разные годы сотрудниками ФГУП ПО «Маяк». Адекватность модели выноса стронция-90 из водоема оценивалась по степени сходимости наблюдаемой и рассчитанной объемной активности радионуклида в ближайшей к водоему скважине 41/78 (рис. 8). Результаты прогнозных расчетов показывают, что вынос стронция-90 из водоема-9 после его консервации в соответствии с проектными решениями не превысит 200 Ки/год с уменьшением до 0,5 Ки/год в конце расчетного периода. При этом с учетом задержки стронция-90 в коренных породах (твердый ореол) и рыхлых отложениях его разгрузка в р. Мишеляк за 150 лет составит около 19 Ки, а в водоемы ТКВ – около 150 Ки. Динамика разгрузки стронция-90 в р. Мишеляк и ТКВ представлена на рис. 9.

Таким образом, математическое моделирование геомиграционных процессов является завершающей стадией объектного мониторинга состояния

недр и обеспечивает необходимую информационную поддержку управляющих (проектных) решений по консервации радиационно-опасных объектов, таких как водоем «Карачай».

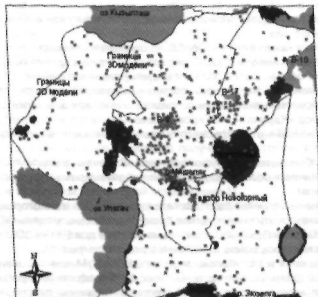


Рис. 1. Границы региональной двумерной GEON-2D и локальной трёхмерной моделей GEON-3D площадки ПО «Маяк»

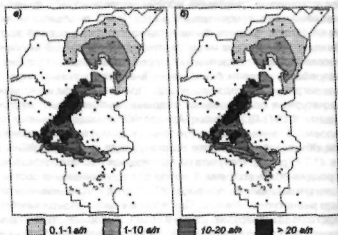


Рис. 4. Прогнозное распределение загрязнения подземных вод нитрат-ионом на глубине 75 м на 2040 год

а) ряд северных скважин водозабора пос. Новогорный отключён с 1996 г.;  
 б) скважины водозабора пос. Новогорный работают в течение всего прогнозного периода.